



性能評価型浄化槽の有機物・窒素除去に及ぼす構造要因の解析と処理の高度化に関する研究

著者	佐々木 敦
号	61
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第5379号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00122310

氏 名	ささき あつし
授 与 学 位	佐々木 敦
学位授与年月日	博士 (工学)
学位授与の根拠法規	平成29年3月24日
研究科, 専攻の名称	学位規則第4条第1項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
指 導 教 員	性能評価型浄化槽の有機物・窒素除去に及ぼす構造要因の解析と 処理の高度化に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 西村 修
	主査 東北大学教授 西村 修 東北大学教授 李 玉友
	東北大学准教授 坂巻 隆史 東北大学准教授 久保田 健吾

論文内容要旨

健全な水循環を維持, または回復させ, 我が国の経済社会の健全な発展及び国民生活の安定向上に寄与することを目的とした水循環法が2015年に制定された。自然の水循環は, 雨や雪として降下し, 土壌や河川, 湖沼や海などを経由し, 蒸発して再び降下する。その一部は用水として生活や産業において使用され, 生活排水や工場排水が生じ, それらは污水处理施設によって処理されて人工的な水循環を形成している。

污水处理施設は下水道, 農・漁業集落排水処理施設, コミュニティプラントなどの集合処理施設と浄化槽などの個別処理施設に大別される。平成27年度末の都市規模別における集合処理と個別処理の整備割合は, 100万人以上の都市規模で集合処理99.1%, 個別処理0.3%に対して, 5万人未満の都市規模で集合処理58.0%, 個別処理19.1%と, 都市規模が小さくなるにしたがって個別処理の割合が増加する。また, 5万人未満の都市規模地域では污水处理人口普及率も77.5%と全国平均88.9%より低く, 浄化槽の普及による汚水の未処理たれ流し状態の早期の改善が求められている。また, 2005年に改正された浄化槽法においては公共用水域等の水質の保全が目的として明示され, 処理水は衛生面の確保のみならず水質の保全にも寄与するレベルが求められている。このためBODおよび窒素, リンの処理可能な高度処理型の浄化槽も開発されるに至っているが, 既設浄化槽においても同様に処理水質を高度化することが重要な課題として位置づけられる。

以上に鑑み, 本研究は浄化槽における有機物・窒素除去に及ぼす構造要因の影響を明らかにし, その結果を基に既設浄化槽の運転方法および構造を改善し, 処理の高度化を図る技術を開発することを目的に行った。本論文は全編6章よりなり, 内容は以下の通りである。

第1章「緒論」では, 研究の背景及び目的を述べた。富栄養化をはじめとした水環境の問題は依然と改善されておらず, 問題の解決のために生活排水の汚濁負荷を軽減させることが重要である。このため汚水未処理地域に

において浄化槽を適正に普及させること、および既設浄化槽における処理水質の高度化が早急に求められている。しかし、我が国独自技術である合併処理浄化槽は処理水質の高度化に関する技術開発の進展が著しい一方で、既設浄化槽の処理水質の高度化に関する研究開発はほとんど行なわれていない。以上の課題を踏まえて、本研究では、近年普及の著しい性能評価型浄化槽の構造要因が有機物・窒素をより高度化する上で必要な構造を究明し、その情報を基に既設浄化槽に対して段階的な処理の高度化を実証することを目的に行った。

第2章「既往研究と研究課題の整理」では、下水道と浄化槽の処理性能の違いや浄化槽の構造の変遷をまとめ、浄化槽の構造と処理水質の関係および浄化槽における窒素除去についての既往の研究を整理し、検討すべき課題について抽出した。以下に本章のまとめを記す。

性能評価型において嫌気槽・好気槽の構造が多様になり、有機物の除去に加えて、窒素除去も可能になっている。また $\text{BOD}10\text{mg/L}$ 、 $\text{T-N}10\text{mg/L}$ を性能基準にもつ浄化槽も存在している。しかし、浄化槽の構造が処理水質に及ぼす影響については主に BOD による評価が行われているものの、窒素除去性能にどのように影響しているか不明な点が残る。さらに高度処理を行う上で、処理方式の選択、滞留時間の確保のための槽容量、生物処理を効率的に行うための担体総表面積などが重要な因子と考えられたが、具体的に解析された例は極めて少ないことが明らかになった。また、性能評価型浄化槽では好気槽から嫌気槽への循環が行われているが、循環水による DO の持ち込みの影響等を考えると、循環と嫌気処理構造の影響を解析することも重要である。そして、嫌気処理において窒素除去性能を向上させ、好気処理において有機物性能を向上させること、さらにそれらを適切に組み合わせより高度処理を行うための総合的な知見を得ることは重要である。そこで有機物・窒素を高度に除去する構造要因について、性能基準と実際の処理水質の観点から解析を行うこととした。加えて循環水の影響も含めて嫌気・好気処理工程毎の処理状況を明らかにすることで、有機物・窒素を高度に除去するための問題点を把握し、既設浄化槽の構造改善による処理の高度化のための知見を得ることとした。

また、有機物・窒素除去に及ぼす構造要因解析の結果を踏まえ、浄化槽の問題を浮き彫りにし、問題を解決するために必要な構造改善が行えれば、設計、維持管理に対しても有効な知見となることが期待される。そこで本研究では、 BOD 除去型浄化槽に焦点を絞り、構造改善に関する技術開発を行い、それらを適用した場合の効果について明らかにし、既設浄化槽の高度化がどの程度可能であるかを検討することとした。

第3章「性能評価型浄化槽における構造要因が処理水質に与える影響」では、性能基準と構造要因の関係を知らするためにデータベースを作成した。なお、実際の処理水質としては宮城県内に設置されている浄化槽法定検査結果を用い、かつ実使用人員、型式、人槽、外観異常を考慮してデータ精査した。

このデータベースを用いて、構造要因が性能基準および処理水質に与える影響について解析を行った結果、嫌気槽の第一室にろ材を充填し、槽容量を大きく確保することが処理性能を向上させる構造要因であることがわかった。また、嫌気槽のろ材の充填容量と総表面積は処理水質を向上させるための構造要因ではないことが示唆さ

れ、基本的には BOD および T-N とともに好気処理における処理が重要であるためと考えられた。次に、好気槽は担体流動生物ろ過方式で、槽容量を大きく確保することが処理性能を向上させる構造要因であることがわかった。また、担体の総表面積も処理水質の向上のために重要な構造要因であることが示唆され、BOD および T-N 濃度を低下させる要因として担体充填容量に加えて総表面積が重要であることが明らかになった。次に、性能基準と処理水質の結果について比較したところ、性能基準として BOD20mg/L 以下の BOD 除去型浄化槽でも、処理水質の観点から評価すると全体の 16%が BOD、T-N10mg/L を達成していたことから、そのような性能評価型浄化槽の構造要因を解析することが構造改善に向けての知見となると推察された。

第4章「性能評価型浄化槽における各処理工程の構造が有機物・窒素除去性能に与える影響」では、性能評価型浄化槽 73 基を対象に嫌気槽第一室、嫌気槽第二室、好気槽（循環水）、処理水槽の各出口の TOC、T-N、各態窒素、SS を測定して、各処理工程における有機物・窒素の動態を把握した。そして循環の影響を考慮した処理工程毎の構造の影響を明確にするために、嫌気・好気処理の構造によって負荷量が低減する割合を算出して解析した。加えて、担体流動生物ろ過方式を対象として硝化細菌数の計測を行い、硝化促進のための基礎的情報を得て、処理の高度化に必要な構造改善のポイントを考察した。

その結果、嫌気槽第一室に嫌気ろ材を充填する構造では $\text{NO}_x\text{-N}$ 負荷量除去率が 91.9%を示し、他の構造よりも有意に高いことが認められた。この理由として、嫌気槽第一室の容量が大きく、かつろ材が充填されていることで、DO の低い脱窒に適した環境が整えられたためと考えられた。また、担体流動生物ろ過方式は、TOC 負荷量除去率で 40.8%、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷量除去率で 58.1%を示し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度もその他の方式と比べて有意に低いことが認められた。この理由としては、担体流動生物ろ過方式では生物を保持する担体の総表面積が大きく、生物処理効果が高いためと考えられた。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 残存率と担体総表面積に負の相関が認められたことから、担体総表面積が硝化促進に重要であることが示された。

次に、担体流動生物ろ過方式における担体 1 個当りの硝化細菌数について、担体流動部（担体は流動）と生物ろ過部（担体は非流動）を比較した結果、生物ろ過部の担体に多くの硝化細菌が付着していることを確認した。すなわち好気槽の硝化を促進させるためには生物ろ過部と同様の構造で担体の充填量を増加させることが有効であることが示唆された。また、DO 値を高く維持するために、ばっ気を底部から行うなど好気槽における処理に有効な容量を大きく確保することが重要であることが示唆された。

第5章「性能評価型浄化槽における有機物・窒素の高度処理技術の開発」では、宮城県内に設置された BOD 除去型浄化槽を対象とし、底部ばっ気、底部ばっ気と循環比の増加、底部ばっ気と担体充填、底部ばっ気とゼオライト充填による構造改善の効果について検証を行った。

その結果、底部ばっ気の効果として、通常ばっ気と比較して有機物除去と硝化の促進効果が認められた。この理由は、好気槽底部の DO 値が通常ばっ気時には 0.2mg/L であったが、底部ばっ気により 1.2mg/L にまで上昇さ

せることができ、生物ろ過部において好気処理が進んだためと考えられた。また、底部ばっ気運転と循環比の増加では、循環比を増加させても窒素濃度の低下には繋がらなかった。その原因として、好気槽では硝化が促進されるものの、嫌気槽で $\text{NO}_x\text{-N}$ が残存し、脱窒が窒素除去の律速になるためであることが分かった。

次に、底部ばっ気と担体充填では、硝化促進および窒素除去の高度化の効果が認められた。その原因として、既設浄化槽に新たに充填した担体において高い硝化細菌数を保持したことで、硝化促進に寄与したことが分かった。次に、底部ばっ気とゼオライト充填では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去効果が認められるものの、底部ばっ気よりもTOCは上昇し、窒素除去効果も顕著ではなく、ゼオライト充填の効果はほとんどないことが示唆された。

以上の構造改善によってBOD20mg/Lを性能基準にもつBOD除去型浄化槽の処理水質を窒素除去型(T-N20mg/L)や高度処理型(BOD10mg/L, T-N10mg/L)の処理レベルにまで高度化できることが明らかになった。

第6章「総括および展望」では、本研究を通して得られた成果について総括し、今後の展望について述べた。既設浄化槽において処理水質の安定しない施設やさらなる高度化を必要とする施設が多数存在する。本研究ではこの問題を解決するための方法を浄化槽の構造が処理水質に及ぼす要因の解析から知見を得て開発したが、本研究では検討できなかったリン除去に関するデータの蓄積を行い、さらなる高度化のための技術開発を今後行う必要がある。本研究の成果である浄化槽の構造改善をはじめとして、さらなるオプションの開発を行い、既設浄化槽の処理水質を安定化・高度化し、その性能を最大限に向上させることで、持続可能な社会を支えるインフラとして浄化槽が将来にわたっても大きな役割を担うことが期待される。

論文審査結果の要旨

わが国の平成25年度末の汚水処理人口普及率は全国平均で88.9%であるものの、人口5万人未満の都市規模では76.6%にとどまり、汚水の未処理たれ流しの問題は深刻である。このような地域は人口密度が低いため、小規模分散型の汚水処理施設である合併処理浄化槽の普及が期待されている。また、2005年に改正された浄化槽法では公共用水域等の水質保全が目的として明示され、BODのみならず窒素、リンの処理可能な浄化槽も開発されるに至っているが、既設浄化槽においても同様に処理水質を高度化することが重要な課題である。

以上に鑑み、本研究は近年普及の進んでいる性能評価型浄化槽の有機物・窒素除去性能に影響を及ぼす構造要因を明らかにし、その結果を基に既設浄化槽の構造を改変して処理の高度化を図る技術を開発することを目的に行ったもので、全編6章よりなる。

第1章「緒論」では、本研究の背景および目的について述べた。

第2章「既往研究と研究課題の整理」では、浄化槽の構造と処理水質の関係および浄化槽における窒素除去についての既往の研究を整理し、検討すべき課題について抽出した。

第3章「性能評価型浄化槽における構造要因が処理水質に与える影響」では、性能基準および処理水質を用いて浄化槽の構造要因が処理水質に与える影響を解析した。その結果、嫌気槽の第一室にろ材を充填し、かつ槽容量を大きく確保すること、好気槽は担体流動生物ろ過方式で槽容量を大きく確保することがBODおよび窒素処理性能を向上させることがわかった。これらは有用な知見である。

第4章「性能評価型浄化槽における各処理工程の構造が有機物・窒素除去性能に与える影響」では、既設性能評価型浄化槽73基を対象に嫌気槽第一室、第二室、好気槽、処理水槽のTOC、T-N、各態窒素の動態を把握した。その結果、嫌気槽第一室にろ材を充填する構造の脱窒能力は優れており、低DO環境が整えられるためであることがわかった。また、担体流動生物ろ過方式はTOCおよびNH₄-Nの除去能力に優れており、生物を保持する担体の総表面積が大きいためであることがわかった。担体流動部と生物ろ過部の硝化細菌数を比較した結果、生物ろ過部の担体に硝化細菌が多く付着していることを確認し、好気槽での硝化を促進させるためには生物ろ過部と同様の構造で担体の充填量を増加させることが有効であることが示唆された。これらは新規性および有用性の高い知見である。

第5章「性能評価型浄化槽における有機物・窒素の高度処理技術の開発」では、既設BOD除去型浄化槽を対象とし、底部ばっ気、循環比の増加、担体充填等の構造改変による処理性能向上について検証を行った。その結果、底部ばっ気により有機物除去と硝化の促進効果が認められ、また担体充填と組み合わせることで窒素除去の高度化の効果が認められ、BOD20mg/Lを性能基準にもつ浄化槽の処理水質を窒素除去型(T-N20mg/L)や高度処理型(BOD10mg/L、T-N10mg/L)の処理レベルにまで高度化できることが明らかになった。これは極めて有用な知見である。

第6章「総括および展望」では、本研究を通して得られた成果について総括し、今後の展望について述べた。

以上の通り、本研究は既設浄化槽において処理水質の安定しない施設やさらなる高度化を必要とする施設が多数存在することをふまえ、この問題を解決するための方法を性能評価型浄化槽の構造が処理水質に及ぼす要因の解析から知見を得て開発し、底部ばっ気と担体充填という比較的簡便な構造改変によってBOD10mg/L、T-N10mg/Lの高度な処理水質を達成することができることを明らかにしたもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。